Journal of Horticultural Science
Vol. 34, No.4, Winter 2021, P. 593-603
ISSN: 2008 - 4730

نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص. ۶۰۳-۵۹۳
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی اثر تنش رطوبتی و منابع کودهای شیمیایی و آلی بر عملکرد دانه و ترکیبات فنلی ریشه سرخارگل *Echinacea purpurea* L.

بیژن سلطانیان[۱]- پرویز رضوانی مقدم[۲*]- جواد اصیلی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۱

چکیده

این آزمایش به منظور بررسی تأثیر سطوح تنش رطوبتی و منابع کودهای شیمیایی و آلی بر صفات مورفولوژیکی، عملکـرد و ترکیبـات فنلـی گیـاه دارویی سرخارگل طی دو سال زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت کرت‌های خـرد شـده در قالب فاکتوریل و در ۳ تکرار اجرا گردید. در کرت‌های اصلی سطوح تنش رطوبتی شامل ۳ سطح عدم تنش رطوبتی (۶۰۰۰ متر مکعب در هکتار)، تنـش رطوبتـی متوسـط(۴۵۰۰ متر مکعب در هکتار) و تنش رطوبتی شدید (۳۰۰۰ متر مکعب در هکتار) و در کرت‌های فرعـی ۸ تیمـار کـودی شـامل کـود شیمیایی کامل $NPK_{20+20+20}$ (۵۰۰ کیلوگرم در هکتار)، ورمی‌کمپوست (۶۰۰۰ کیلوگرم در هکتار)، هیومیک‌اسید (۲۰ لیتر در هکتـار) و تیمـار ترکیبـی هیـومیـک اسید (۲۰ لیتر در هکتـار)+کود شـیمیایی کامـل $NPK_{20+20+20}$ (۵۰۰ کیلـوگرم در هکتـار)، تیمـار ترکیبـی هیومیـک اسـید (۲۰ لیتـر در هکتار)+ورمـی‌کمپوسـت (۶۰۰۰ کیلوگرم در هکتار)، تیمـار ترکیبی ورمی‌کمپوست (۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار)+کود شیمیایی کامل $NPK_{20+20+20}$ (۲۵۰ کیلوگرم در هکتار) و ترکیب سه بخشی کود شیمیایی‌کامل (۲۵۰ کیلوگرم در هکتار) +ورمی‌کمپوست (۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار)+ هیومیک‌اسید (۲۰ لیتر در هکتار) و شاهد بودند. در این آزمایش بیشترین وزن خشک ساقه، گل و زیست توده در تیمار ورمی‌کمپوست و عدم تنش و کمترین مقادیر این صفات در تنش شدید و شاهد مشاهده گردید. بیشترین وزن خشک برگ و ریشه در تیمار ورمی‌کمپوست+ هیومیک‌اسید و تنش متوسط و کمترین وزن خشـک برگ در تیمار تنش شدید و شاهد مشاهده شد. بیشترین عملکرد دانه در تیمارهای ورمی‌کمپوست+هیومیک اسید+کود کامل $NPK_{20+20+20}$ و تیمار کود کامل $NPK_{20+20+20}$ هر دو در شرایط عدم تنش مشاهده شدند. با افزایش تنش نسبت ریشه به اندام‌های هوایی افزایش یافت و بیشترین مقادیر آن در تیمار شاهد و تنش شدید و کمترین مقادیر آن در تیمار ورمی‌کمپوست و عدم تنش مشاهده شد. بیشترین مقادیر ترکیبات فنلی ریشه در تیمار هیومیـک اسید+ورمی‌کمپوست و تنش شدید و کمترین مقادیر آن در تیمار هیومیک اسید و عدم تنش مشاهده شد لذا تولید این گیـاه در شـرایط تـامین رطـوبتی ۳۰۰۰ متر مکعب در هکتار و استفاده از تیمارهای کودی حاوی ترکیبات هیومیکی و ورمی‌کمپوست قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: کود کامل، گیاهان دارویی، هیومیک اسید، ورمی‌کمپوست

مقدمه

در شرایط کنونی تقاضا برای گیاهان دارویی بـه عنـوان تولیـدات قابل مصرف در صنایع بهداشتی و دارویی در حال افزایش مـی باشـد (۲۱) سرخارگل[۴] *Echinacea* spp. گیاهی علفی و چندسـاله از تیـره گل ستاره‌ای‌ها[۵] است (۱۹) و تمام پیکر این گیاه حـاوی مـواد مـؤثره ارزشمندی می‌باشد که این ترکیبات به گروه‌هـای شـیمیایی مختلفـی تعلق دارند که مهمترین آنها، ترکیبات فنلی مـی‌باشـند (۲۳) در سـال های اخیر یک تجدید حیات در اسـتفاده از تولیـدات گیاهـان دارویـی سنتی صورت گرفته است که سـرخارگل در صـدر آنهـا قـرار دارد (۱) سرخارگل شناخته شده‌ترین و مهمترین درمان برای سیستم ایمنـی و محافظت در مقابل سرفه و سرماخوردگی و تـب اسـت (۳۴) خشـکی یکی از مهمترین عوامل محدود کننده رشد گیاهان در سرتاسر جهـان بوده و شایع ترین تنش محیطی (۳۳ و ۸) در منـاطق خشـک و نیمـه خشک دنیا است. در اقلیم‌های نیمه خشک بدلیل محـدودیت منـابع

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش آموخته دکتری اگرواکولوژی و اسـتاد گـروه اگروتکنولـوژی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email:rezvani@um.ac.ir)
۳- استاد گروه فارماکوگنوزی، دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد
DOI: 10.22067/jhorts4.v34i4.82030

4- Purple coneflower
5- Asteraceae

آبی و شدت بیشتر نور گیاهان در معرض سطوح بالاتری از تنش خشکی قرار می‌گیرند (۲۷) گزارش شده است که دمای بالا و تنش خشکی در تجمع برخی از ترکیبات ثانویه در گیاهان نقش دارد و تنش خشکی می‌تواند یک فاکتور اساسی در افزایش محتوای ترکیبات ثانویه در بسیاری از گیاهان دارویی باشد (۳۱) به دلیل بسته شدن روزنه‌ها به علت کمبود رطوبت جذب دی‌اکسید کربن به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد در نتیجه میزان مصرف $NADP^+$ و H^+ در چرخه کالوین برای تثبیت CO_2 به طور چشمگیری کاهش می‌یابد و باعث تولید مقادیر اضافی از این ترکیبات می‌شود در نتیجه مسیرهای متابولیکی به سمت تولید ترکیباتی مانند ایزوپرونوئیدها، فنل‌ها و آلکالوئیدها سوق می‌یابد (۲۷). این اعتقاد وجود دارد که چرخه‌های خشکی و تنش میزان متابولیت‌های ثانویه را در سرخارگل افزایش می‌دهد (۱۹).

اگر چه تولید متابولیت‌های ثانویه تحت کنترل ژن‌ها هستند ولی میزان تولید آنها به طور قابل توجهی تحت تأثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و عناصر غذایی کم مصرف و پر مصرف قرار دارد (۲۴) مواد آلی به علت اثرات سازنده‌ای که بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارند به عنوان یکی از ارکان باروری خاک و تغذیه گیاه شناخته شده‌اند (۳۲) کود دامی، کمپوست و ورمی‌کمپوست وقتی در خاک مصرف می‌شوند، فعالیت‌های میکروبی خاک را توسعه می دهند که رشد گیاه را بهبود بخشیده و از حمله آفات و بیماری‌ها جلوگیری می‌کند و همچنین خواص فیزیکوشیمیایی خاک و همچنین فعالیت‌های بیولوژیکی را بهبود می‌بخشند (۲۵ و ۷) مطالعات نشان داده است تحمل گیاهانی که کود آلی دریافت کرده‌اند نسبت به تنش رطوبتی و حمله آفات بیشتر از گیاهانی بوده که تنها کود شیمیایی دریافت کرده‌اند (۱۶). ورمی‌کمپوست به علت داشتن تخلخل زیاد، تهویه و زهکشی مناسب، دارای قدرت بالای جذب و نگهداری آب و مواد غذایی می‌باشد (۳) از طرفی عناصر غذایی موجود در آن مانند فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم به فرمی هستند که به آسانی برای گیاه قابل جذب و دسترسی می‌باشند (۴) یکی از ترکیبات پلیمری که در اصلاح ساختار خاک نقش مهمی دارد اسیدهیومیک است (۲۹) که از تجزیه مواد آلی در خاک حاصل می‌شود. شواهد نشان داده است که اسیدهیومیک با تولید بیشتر اسیدهای نوکلئیک و اسیدهای آمینه تکثیر سلولی را در کل گیاه و به ویژه در ریشه‌ها افزایش می دهد (۱۰) و می‌تواند با عناصر کم مصرف خاک کمپلکس تشکیل دهد و قابلیت دسترسی آنها را برای گیاه افزایش دهد (۱۷).

بطورکلی هدف از اجرای این پژوهش بررسی واکنش عملکرد، خصوصیات مورفولوژیکی و ترکیبات فنلی به عنوان مهمترین گروه از ترکیبات مؤثره در گیاه دارویی سرخارگل در پاسخ به سطوح مختلف آب آبیاری و مدیریت کودی و اثرات متقابل آنها بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در دو سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد (طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا) و در قالب طرح کرت‌های خرد شده به صورت آزمایش فاکتوریل در ۳ تکرار به اجرا در آمد. با توجه به چندساله بودن گیاه و طبق بررسی‌های به عمل آمده مبنی بر عدم برداشت گیاه در سال اول رویش (۱۹ و ۲۳) از نتایج حاصل از برداشت گیاه در مرحله رسیدگی سال دوم استفاده شد. فاکتورهای مورد بررسی در این آزمایش در کرت اصلی شامل آبیاری در سه سطح:

۱- تامین۱۰۰ درصد نیاز رطوبتی -عدم تنش رطوبتی (۶۰۰۰ متر مکعب در هکتار)
۲- تامین۷۵ درصد نیاز رطوبتی –تنش رطوبتی متوسط (۴۵۰۰ متر مکعب در هکتار)
۳- تامین۵۰ درصد نیاز رطوبتی–تنش رطوبتی شدید (۳۰۰۰ متر مکعب در هکتار)

در کرت‌های فرعی، تیمارهای کودی در هشت سطح شامل:

۱- کود شیمیایی کامل $NPK_{20+20+20}$ (۵۰۰ متر مکعب در هکتار)
۲- اسید هیومیک (۲۰ لیتر در هکتار)
۳- ورمی‌کمپوست (۶۰۰۰ کیلوگرم در هکتار)
۴- تیمار ترکیبی اسیدهیومیک (۲۰ لیتر در هکتار)+ کود شیمیایی کامل $NPK_{20+20+20}$ (۵۰۰ کیلوگرم در هکتار)
۵- تیمار ترکیبی ورمی‌کمپوست (۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار)+ کود شیمیایی کامل $NPK_{20+20+20}$ (۲۵۰ کیلوگرم در هکتار)
۶- تیمار ترکیبی ورمی‌کمپوست (۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار)+ اسید هیومیک (۲۰ لیتر در هکتار)
۷- تیمار ترکیبی ورمی‌کمپوست (۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار)+ اسیدهیومیک (۲۰ لیتر در هکتار)+ کود شیمیایی کامل $NPK_{20+20+20}$ (۲۵۰ کیلوگرم در هکتار)
۸- تیمار شاهد (عدم افزودن کود) بودند.

هر کرت دارای ۵ ردیف با فاصله ۵۰ و ۲۵ سانتی‌متر بین و روی ردیف‌ها بود (۲۳). طول هر کرت ۳ و عرض آن ۲/۵ متر بود. پیش از اجرای آزمایش، از اعماق صفر تا۳۰ سانتی‌متری نمونه خاک تهیه گردید (جدول ۱).

بذر گونه *Echinacea purpurea* به جهت سابقه کاشت آن در ایران و به روش نشاءکاری در گلخانه در اواسط بهمن‌ماه ۹۴ در سینی کاشت و در مخلوط ۳ به ۱ پیت‌ماس و پرلیت کشت و با آبیاری بارانی

به عمل آمد. آماده‌سازی زمین اصلی در ابتدای اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۵ انجام و نشاءها در اواخر اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۵ به زمین اصلی منتقل گردید. سیستم آبیاری شامل لوله کشی پلی اتیلن بود و بالای هر کرت به تعداد خطوط کاشت شیر و در مسیر لوله اصلی کنتور نصب گردید. میزان آب آبیاری مورد نیاز در هر نوبت توسط نرم‌افزار NETWAT (۲) محاسبه گردید. اعمال تیمار آبیاری در زمان استقرار کامل گیاهچه‌ها و در مرحله ۶ برگی صورت گرفت و تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک هر ۷ روز یکبار ادامه یافت. تیمارهای کودی با توجه به نتایج حاصل از تجزیه خاک (جدول ۱) برآورد و در هر دو سال آزمایش در اواسط تیرماه اعمال شد. کود $NPK_{20+20+20}$ با نام تجاری Quadro 20+20+20 TE ساخت شرکت Green Has ایتالیا و اسیدهیومیک مورد استفاده با نام تجاری K-humate ساخت شرکت Omnia استرالیا و دارای ۲۶ درصد هومات پتاسیم آلی به میزان ۵۰ گرم در لیتر بود. مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم در ورمی کمپوست نیز با نمونه‌گیری از توده آن تعیین (جدول ۲) و مقدار استفاده از آن براساس تعادل در میزان عنصر نیتروژن نسبت به کود شیمیایی بود. نیاز سرخارگل به نیتروژن خالص با توجه به آزمایش خاک ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار تعیین شد. درصد نیتروژن خالص در نمونه ورمی‌کمپوست ۱/۶۸ درصد بود (جدول ۲). در تیمارهای ترکیبی نیمی از کود شیمیایی به کار برده شده در تیمار خالص کسر و مقدار معادل آن از ورمی‌کمپوست استفاده شد. اسیدهیومیک مایع به مقدار ثابت و همزمان با سایر ترکیبات کودی در مرحله توسعه برگ‌های روزتی و قبل از ساقه‌دهی به کار برده شد.

جدول ۱- نتایج آزمایش خاک

Table 1- The result of soil analysis

بافت خاک Soil texture	پتاسیم K (mg kg⁻¹)	فسفر P (mg kg⁻¹)	نیتروژن N (%)	ماده آلی OM (%)	کربن آلی OC (%)	هدایت الکتریکی EC (dS.m⁻¹)	اسیدیته pH
Silty-loam	180	16.6	0.089	1.15	0.898	1.63	7.6

جدول ۲- نتایج آزمایش کود ورمی کمپوست

Table 2- The result of Vermicompost analysis

پتاسیم K (mgkg⁻¹)	فسفر P(mg kg⁻¹)	نیتروژن N (%)	ماده آلی OM (%)	کربن آلی OC (%)	هدایت الکتریکی EC (dS.m⁻¹)	اسیدیته pH
20713	1929	1.68	16.81	9.75	6.32	6.7

مبارزه با علف‌های هرز در هر دو سال آزمایش طی ۳ نوبت مطابق با پیشرفت مراحل رشدی گیاه و علف‌های هرز در کرت‌ها به صورت وجین دستی اعمال گردید. در پایان فصل رشد پس از حذف اثر حاشیه تعداد ۴ بوته همراه با ریشه‌ها جمع‌آوری و ریشه، ساقه، برگ و گل جدا شدند. از ریشه‌های ثانویه حدود ۵ گرم نمونه تهیه و در یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد جهت اندازه‌گیری ترکیبات فنلی نگهداری شد. جهت تعیین وزن خشک ساقه، برگ، گل و ریشه هر بوته، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در اون ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت سپس وزن خشک هر یک توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری وزن خشک زیست توده بخش هوایی، وزن تر نمونه‌های برداشت شده از مساحت فوق‌الذکر با تراوز (دقت ۱ گرم) تعیین و سپس تعداد ۱۰ نمونه در آون ۷۰ درجه به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت و وزن خشک ثبت گردید و نسبت وزن تر به وزن خشک محاسبه شد و وزن خشک سایر نمونه‌ها با استفاده از این ضریب برآورد گردید. گل‌های برداشت شده از کل مساحت هر یک از کرت‌ها قطع و پس از جدا سازی ناخالصی‌ها، عملکرد دانه توسط ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین نسبت ریشه به اندام‌های هوایی، میانگین وزن ریشه به میانگین وزن بخش هوایی (ساقه، برگ و گل) تقسیم گردید. مقدار کل ترکیبات فنلی ریشه موجود در نمونه به روش فولین- سیوکالتو (۳۰) مورد بررسی قرار گرفت. داده ها با نرم‌افزار MSTAT-C آنالیز و توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه میانگین داده‌ها انجام شد.

نتایج و بحث

وزن خشک ساقه: اثر سطوح تنش رطوبتی ($p\leq0.01$) و اثر تیمارهای کودی ($p\leq0.01$) و اثرات متقابل آنها ($p\leq0.01$) بر وزن خشک ساقه معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین وزن خشک ساقه در تیمار ورمی‌کمپوست و عدم تنش رطوبتی مشاهده شد. کمترین وزن خشک ساقه در تیمار تنش رطوبتی شدید و عدم مصرف کود مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای هیومیک اسید و ورمی کمپوست هر دو در شرایط تنش رطوبتی شدید نداشتند (جدول ۴) در آزمایشی افزایشی ۵۰ درصدی در وزن خشک ساقه سرخارگل در نتیجه آبیاری مشاهده شد (۲۰) که در توافق با نتایج حاصل از این

آزمایش است.

وزن خشک برگ: اثـر سـطوح تـنش رطـوبتی ($p\leq0.01$) اثـر تیمارهای کودی ($p\leq0.01$) و اثرات متقابل سطوح تـنش رطـوبتی و تیمارهای کودی ($p\leq0.01$) بر وزن خشک برگ معنی‌دار بود (جـدول ۳). بیشترین وزن خشک برگ در تیمار هیومیک اسید+ورمی‌کمپوست و تنش رطوبتی متوسط و بـه دنبـال آن در تیمـار کـود کامـل+ورمی کمپوست و تنش رطوبتی متوسط مشاهده شد که اختلاف معنـی‌داری با هم نداشـتند. کمتـرین مقـادیر وزن خشـک بـرگ در تیمـار تـنش رطوبتی شدید و عدم مصرف کود مشاهده شد (جـدول ۴). بـا تشـدید تنش‌ها از میزان تأثیر مثبت کودهای آلی در افزایش وزن خشک برگ کاسته شد ولی کاربرد کودهای آلـی حتـی در شـرایط تـنش رطـوبتی شدید نیز باعث افزایش وزن خشک بـرگ گردیـد بطوریکـه کمتـرین میزان وزن خشک برگ در تیمارهای عدم کود دهی و تنش رطـوبتی شدید مشاهده شد.

وزن خشک گل: اثـر سـطوح تـنش رطـوبتی ($p\leq0.01$) و اثـر تیمارهای کودی ($p\leq0.01$) و اثرات متقابل سطوح تـنش رطـوبتی و تیمارهـای کـودی بـر وزن خشـک گـل معنـی‌دار ($p\leq0.01$) بـود (جدول۳). بیشترین وزن خشک گل در تیمار ورمـی‌کمپوسـت و عـدم تنش رطوبتی مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری بـا تیمارهـای کـود کامل+هیومیـک اسـید و هیومیـک اسـید+ورمی‌کمپوسـت هـر دو در شرایط عدم تنش رطوبتی نداشت. کمترین مقادیر وزن خشک گل نیز در تیمار تنش رطوبتی شدید و عدم مصـرف کـود مشـاهده شـد کـه اختلاف معنی‌داری با تیمارهای کود کامل و هیومیک اسید+کود کامل هر دو در شرایط تنش رطوبتی شدید، نداشـت (جـدول ۴). گروهـی از محققین کاهش عملکرد گـل سـرخارگل را بـا افـزایش شـدت تـنش رطوبتی مشاهده نمودند (۲۲) و در آزمایشی دیگر افزایش ۲۵ درصدی در وزن گل سرخارگل در نتیجه آبیاری مشاهده شد (۲۰).

عملکرد زیست توده: اثر سطوح تنش رطـوبتی ($p\leq0.01$) اثـر تیمارهای کودی ($p\leq0.01$) و اثرات متقابل آنها بـر عملکـرد زیسـت توده ($p\leq0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین عملکرد زیست توده در تیمار ورمی‌کمپوست و عدم تنش رطوبتی مشاهده شد. همزمان بـا افزایش میزان تنش از عملکرد زیست توده سـرخارگل کاسـته شـد و کمترین مقادیر آن در تیمار عدم مصرف کود و تـنش رطـوبتی شـدید مشاهده شد (جدول ۴). کاهش آماس سلولی در نتیجه تنش رطـوبتی در کاهش رشد و تقسیم سلولی مؤثر است که متعاقباً باعـث کـاهش رشد رویشی گیاه می‌گردد (۱۴). در یک بررسی بر روی تأثیر فواصـل آبیاری و کودهای زیستی بر سرخارگل، کاهش وزن تـر و خشـک آن همراه با کاهش مقادیر آبیاری مشاهده شد (۳۴) و در آزمایشـی دیگـر افزایشی ۵۰ درصدی در وزن خشک بخـش‌هـای هـوایی سـرخارگل همراه با افزایش میزان آبیاری مشـاهده شـد (۲۰). افـزایش عملکـرد زیست توده در نتیجه مصـرف ورمـی‌کمپوسـت ناشـی از وجـود مـواد هیومیکی و وجود تأثیرات شبه هورمونی و تنظیم‌کننده رشد در آن می باشد (۵).

عملکـرد دانــه: اثـر سـطوح تـنش رطـوبتی ($p\leq0.01$) و اثـر تیمارهـای کـودی ($p\leq0.01$) و اثـرات متقابـل آنهـا ($p\leq0.01$) بـر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانـه در تیمـار ترکیبی ورمی‌کمپوسـت+هیومیک اسـید+کود کامـل در شـرایط عـدم تنش رطوبتی مشاهده شد که اخـتلاف معنـی‌داری بـا تیمـار ترکیبـی هیومیک‌اسید+کود کامل و عدم تنش رطوبتی داشت. کمترین عملکرد دانه در تیمار هیومیک‌اسید+کود کامل و تیمار هیومیک‌اسید هر دو در شرایط تنش رطوبتی شدید مشاهده شدند که اخـتلاف معنـی‌داری بـا یکدیگر نداشـتند (جـدول ۵). در آزمایشـی کـه روی ۴ سـطح تـنش رطـوبتی بـر روی گلرنـگ (*Carthamus tinctorius* L.) صـورت گرفته بود همزمان با افزایش میزان تـنش رطـوبتی از عملکـرد دانـه گلرنگ کاسته شد که در توافق با نتایج آزمایش حاضر است (۱۲).

وزن خشک ریشه: اثر سطوح تـنش رطـوبتی ($p\leq0.01$) اثـر تیمارهای کودی ($p\leq0.01$) و اثرات متقابل آنهـا ($p\leq0.01$) بـر وزن خشک ریشه معنی‌دار بود (جـدول ۳). بیشـترین مقـادیر وزن خشـک ریشه در تیمار هیومیک اسید+ورمی‌کمپوست و تنش رطوبتی متوسـط و به دنبال آن در همین تیمار در شرایط عدم تنش رطوبتی و در تیمار کودکامل+ورمی‌کمپوست و شرایط عدم تنش رطوبتی مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. کمتـرین مقـادیر وزن خشـک ریشه در تیمار ورمی‌کمپوست، هیومیک اسید و کود کامل هـر سـه در شرایط تنش رطوبتی شدید مشاهده شـد کـه اخـتلاف معنـی‌داری بـا یکدیگر نداشتند (جدول ۴). اعمال تیمـار تـنش رطـوبتی در تحریـک توسـعه ریشـه مـؤثر بـود. در آزمایشـی افـزایش وزن خشـک ریشـه سرخارگل با افزایش شدت تنش رطوبتی مشاهده شد (۱۵). همچنـین در آزمایشی دیگر وزن ریشه همیشـه‌بهـار فرانسـوی (*Calendula officinalis* L.) در نتیجه افزایش ورمی‌کمپوست به خـاک، افـزایش یافت (۶). برخی آزمایش‌ها به رشد سریعتر ریشه سرخارگل در نتیجـه زیاد بودن نیتروژن اشاره کردند و این امر را در کاهش سطح ترکیبات فعال زیستی ریشه آن موثر دانستند (۱).

نسبت ریشه به اندام‌های هوایی: اثر سـطوح تـنش رطـوبتی ($p\leq0.01$)، اثر تیمارهـای کـودی ($p\leq0.01$) و اثـرات متقابـل آنهـا ($p\leq0.01$) بر نسبت ریشه به بخش‌های هوایی معنی‌دار بـود (جـدول ۳). بیشترین نسبت ریشه به اندام‌های هوایی در تیمـار عـدم مصـرف کود و تنش رطوبتی شدید مشاهده شـد و کمتـرین نسـبت ریشـه بـه اندام‌های هوایی در تیمار ورمی‌کمپوست و عدم تنش رطوبتی مشاهده شد (جدول ۵). کاربرد کودهای آلی ورمی‌کمپوست و هیومیـک اسـید این نسبت را در شرایط تنش رطوبتی شدید افـزایش داد و در توسـعه سیستم ریشه‌ای در این شرایط موثر بودند.

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات سطوح کم آبیاری و تیمارهای کودی بر روی صفات سرخارگل

Table 3- ANOVA (mean squares) for the effects of deficit irrigation levels and fertilizer treatments on Echinacea characteristics

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean squares							
		وزن خشک ساقه Stem dry weight	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن خشک گل Flower dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن خشک زیست توده Biomass dry weight	عملکرد دانه Seed yield	نسبت ریشه به اندام-های هوایی Shoot /root ratio	محتوی فنل کل ریشه Root total phenol content
تکرار Replication	2	2461*	263^{ns}	3586*	112^{ns}	317225^{ns}	19.7^{ns}	0.001^{ns}	15^{ns}
سطوح کم آبیاری Deficit irrigation levels (I)	2	153949**	139035**	352529	96586**	190854798**	3681.6**	0.018**	143**
خطای کرت اصلی Main plot error	4	222	877	212	2863	78257	14.1	0.001	6
تیمارهای کودی Fertilizer treatments (F)	7	25161**	23011**	49584**	12950**	27897933**	238.7**	0.008**	35**
سطوح کم ابیاری× تیمارهای کودی Irrigation×Fertilizer treatment (I×F)	14	10405**	5415**	6904**	3908**	4746885**	67.5**	0.003**	5*
خطای کرت فرعی Sub plot error	42	1471	1083	1263	799	304575	7.7	0.001	3
ضریب تغییرات C.V (%)	-	10.8	10.5	9.3	8.4	5.1	8.2	9.7	8.4

ns، ** و * به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** and *: non-significant, significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$, respectively.

جدول ٤- اثرات متقابل سطوح کم آبیاری × تیمارهای کودی بر وزن خشک اندام‌های گیاه سرخارگل

Table 4- Interaction effects of water stress levels ×fertilizer treatments on dry matter weight of Echinacea organs

	تیمارهای آزمایشی Experimental treatments	وزن خشک ساقه Stem dry weight ($g\ m^{-2}$)	وزن خشک برگ Leaf dry weight ($g\ m^{-2}$)	وزن خشک گل Flower dry weight ($g\ m^{-2}$)	وزن خشک ریشه Root dry weight ($g\ m^{-2}$)
عدم تنش رطوبتی non water stress	Complete chemical fertilizer کود شیمیایی کامل	338.60 fg	279.7 e-g	365.0 f-h	323.3 ef
	Humic acid هیومیک اسید	322.20 f-h	288.3 e-g	422.9 ef	296.5 f-h
	Vermicopmost ورمی‌کمپوست	541.08 a	438.0 ab	625.7 a	410.0 bc
	هیومیک اسید+کود شیمیایی کامل Humic acid+ Complete chemical fertilizer	407.39 de	362.8 cd	591.6 ab	405.9 bc
	ورمیکمپوست+کود شیمیایی کامل Vermicompost+ Complete chemical fertilizer	450.04 dc	320.9 de	538.0 bc	444.0 ab
	ورمی کمپوست+هیومیک اسید Vermicompost+Humic acid	452.84cd	437.5 ab	538.0 ab	445.9 ab
	کودشیمیایی کامل+ورمی کمپوست+هیومیک اسید Complete chemical fertilizer+ Vermicompost+Humic acid	462.71cd	430.0 ab	513.5 cd	393.7 cd
	Control شاهد	357.11ef	244.5 f-i	336.6 gh	335.1 ef
تنش رطوبتی متوسط Moderate water stress	Complete chemical fertilizer کود شیمیایی کامل	322.85 f-h	321.6 de	340.2 gh	353.9 de
	Humic acid هیومیک اسید	337.49 fg	293.5 ef	337.7 gh	355.9 de
	Vermicopmost ورمی‌کمپوست	451.92 cd	388.8 bc	486.7 cd	404.2 bc
	هیومیک اسید+کود شیمیایی کامل Humic acid+Complete chemical fertilizer	348.11 ef	355.0 cd	384.8 fg	366.4 c-e
	ورمیکمپوست+کود شیمیایی کامل Vermicompost+ Complete chemical fertilizer	476.91 ab	447.6 a	476.0 de	384.4 cd
	ورمی کمپوست+هیومیک اسید Vermicompost+Humic acid	530.52 ab	462.5 a	470.6 de	467.4 a
	کودشیمیایی کامل+ورمی کمپوست+هیومیک اسید Complete chemical fertilizer+ Vermicompost+Humic acid	358.72 ef	359.7 cd	376.5 fg	293.5 f-h
	Control شاهد	270.79 hi	289.3 e-g	269.9 ij	288.6 f-i
تنش رطوبتی شدید Severe water stress	کود شیمیایی کامل Complete chemical fertilizer	277.17g-i	195.3 ij	232.1 j-l	255.3 hi
	هیومیک اسید Humic acid	251.95ij	223.6 ij	207.5 kl	244.9 i
	ورمی‌کمپوست Vermicopmost	224.07ij	197.8 ij	275.4 ij	242.4 i
	هیومیک اسید+کود شیمیایی کامل Humic acid+Complete chemical fertilizer	346.15ef	254.0 f-h	228.3 j-l	264.6 g-i
	ورمیکمپوست+کود شیمیایی کامل Vermicompost+ Complete chemical fertilizer	271.17hi	243.3 f-i	348.2 gh	271.8 g-i
	ورمی کمپوست+هیومیک اسید Vermicompost+Humic acid	272.44hi	271.9 e-h	265.7 i-k	302.8 f-g
	کودشیمیایی کامل+ورمی کمپوست+هیومیک اسید Complete chemical fertilizer+ Vermicompost+Humic acid	281.75g-i	236.6 g-j	307.8 hi	271.4 g-i
	Control شاهد	198.93 j	187.5 j	178.2 l	260.6 g-i

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($p\leq0.05$) با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter are not significantly different ($p\leq0.05$) based on Duncan's multiple range test.

جدول ۵- اثرات متقابل تیمارهای آبیاری × سطوح کودی بر خصوصیات عملکردی سرخارگل

Table 5- Interaction effects of water stress levels ×fertilizer treatments on yield characteristics of Echinacea

	تیمارهای آزمایشی Experimental treatments	عملکرد دانه Seed yield ($g\ m^{-2}$)	عملکرد زیست توده Yield Biomass ($kg\ ha^{-1}$)	نسبت ریشه به اندام‌های هوایی Shoot/root ratio	غلظت فنل کل ریشه Root total phenol concentration ($mg\ g^{-1}$)
عدم تنش رطوبتی Non water stress	Complete chemical fertilizer کود شیمیایی کامل	48.07 c	10314 f-h	0.31 b-g	17.13 kl
	Humic acid هیومیک اسید	43.15 d	10766 e-g	0.28 g-i	16.42 l
	Vermicopmost ورمی‌کمپوست	30.34 gh	16351 a	0.25 i	18.44 h-l
	هیومیک اسید+کود شیمیایی کامل Humic acid+ Complete chemical fertilizer	54.54 b	14164 cd	0.29 f-i	20.09 g-j
	ورمیکمپوست+کود شیمیایی کامل Vermicompost+ Complete chemical fertilizer	42.55 d	13515 d	0.33 b-f	20.48 f-i
	ورمی کمپوست+هیومیک اسید Vermicompost+Humic acid	51.52 bc	15248 b	0.29 e-i	20.16 f-i
	کودشیمیایی کامل+ورمی کمپوست+هیومیک اسید Complete chemical fertilizer+ Vermicompost+Humic acid	61.25 a	14674 bc	0.27 g-i	20.58 f-h
	Control شاهد	41.52 de	9797 h	0.34 b-e	17.20 j-l
تنش رطوبتی متوسط Moderate water stress	Complete chemical fertilizer کود شیمیایی کامل	37.76 ef	10224 gh	0.35 b-d	20.98 e-h
	Humic acid هیومیک اسید	26.96 j-i	9956 gh	0.36 bc	19.78 g-k
	Vermicopmost ورمی‌کمپوست	29.66 g-i	13570 d	0.30 e-h	20.57 f-i
	هیومیک اسید+کود شیمیایی کامل Humic acid+Complete chemical fertilizer	34.15 fg	11221 ef	0.33 b-f	23.98 b-d
	ورمیکمپوست+کود شیمیایی کامل Vermicompost+ Complete chemical fertilizer	31.69 g	14321 cd	0.27 g-i	20.86 f-h
	ورمی کمپوست+هیومیک اسید Vermicompost+Humic acid	36.30 f	15000 bc	0.31 b-g	24.73 a-c
	کودشیمیایی کامل+ورمی کمپوست+هیومیک اسید Complete chemical fertilizer+ Vermicompost+Humic acid	37.22 ef	11322 e	0.26 hi	21.13 d-h
	شاهد Control	23.77 jk	8537 i	0.34 b-e	17.64 i-l
تنش رطوبتی شدید Severe water stress	کود شیمیایی کامل Complete chemical fertilizer	23.33 j-l	7279 j	0.35 bc	24.04 b-d
	هیومیک اسید Humic acid	18.47 m	7015 j	0.35 bc	24.06 b-d
	ورمی‌کمپوست Vermicopmost	19.13 lm	7163 j	0.34 b-e	22.97 c-f
	هیومیک اسید+کود شیمیایی کامل Humic acid+Complete chemical fertilizer	18.43 m	8469 i	0.31 b-g	26.79 ab
	ورمی کمپوست+کود شیمیایی کامل Vermicompost+ Complete chemical fertilizer	22.98 j-m	8856 i	0.31 c-h	21.93 c-g
	ورمی کمپوست+هیومیک اسید Vermicompost+Humic acid	25.32 j-k	8354 i	0.36 b	27.16 a
	کودشیمیایی کامل+ورمی کمپوست+هیومیک اسید Complete chemical fertilizer+ Vermicompost+Humic acid	26.48 j-i	8526 i	0.32 b-g	23.91 b-e
	شاهد Control	21.58 k-m	5862 k	0.45 a	18.70 h-l

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($p<0.05$) نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter are not significantly different ($p<0.05$).

گروهی از محققین افزایش وزن ریشه سرخارگل و افزایش نسبت ریشه به اندام‌های هوایی را با افزایش شدت تـنش رطـوبتی مشـاهده نمودند (۱۵). گروهی دیگر بر خلاف مطالعه قبلی کاهش وزن خشـک ریشه همراه با افزایش تنش‌هـای رطـوبتی را در سـرخارگل مشـاهده

نمودند (۳۴) ولی با توجه به نتایج آزمایش حاضر به نظر می رسد این تاثیر کاهشی در اندام‌های هوایی بیش از سیستم ریشه ای باشد که منجر به افزایش نسبت ریشه به اندام‌های هوایی تحت شرایط تنش رطوبتی شدید گردید. تنش رطوبتی باعث کاهش ارتفاع بوته و تعداد برگ می شود که کاهش وزن تر و وزن خشک اندام‌های هوایی را به دنبال دارد (۲۸) جلوگیری از توسعه برگها در نتیجه تنش‌های رطوبتی میزان مصرف کربن و انرژی را در اندام‌های هوایی کاهش داده و سهم بیشتری از مواد آسیمیله شده در ریشه توزیع می‌گردد که منجر به افزایش نسبت ریشه به اندام‌های هوایی می شود (۱۳ و ۹) حاصلخیزی بالاتر نیز عملکرد بخش‌های هوایی را افزایش داده و عملکرد ریشه را محدود می‌کند (۱۱). در آزمایشی کاربرد ورمی کمپوست منجر به افزایش وزن ریشه و در نتیجه افزایش نسبت ریشه به اندام‌های هوایی گردید که در توافق با نتایج آزمایش حاضر است (۶).

محتوی فنل کل ریشه: اثر سطوح تنش رطوبتی ($p\leq0.01$)، اثر تیمارهای کودی ($p\leq0.01$) و اثرات متقابل آنها ($p\leq0.05$) بر میزان ترکیبات فنلی ریشه معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین محتوی ترکیبات فنلی در تیمار ترکیبی هیومیک‌اسید+ورمی‌کمپوست و به دنبال آن در تیمار ترکیبی هیومیک‌اسید+کود کامل هر دو در شرایط تنش رطوبتی شدید مشاهده شد. کمترین محتوی ترکیبات فنلی ریشه در تیمار هیومیک‌اسید و عدم تنش رطوبتی مشاهده شد (جدول ۵). در آزمایشی کاربرد هیومیک اسید در شرایط تنش رطوبتی محتوای اسید کلروژنیک را که از ترکیبات فنلی سرخارگل می باشد، افزایش داد (۱۸) گروهی از محققین گزارش نمودند که هیومیک اسید محلول در آب انتشار ریشه‌های موبین را افزایش می‌دهد و تعداد و کمیت آنها را با افزایش سلول‌های کورتکس و اپیدرمی افزایش می‌دهد (۳۵) با توجه به اینکه ریشه‌های تغذیه‌ای ریز و ریشه اصلی سرخارگل بالاترین میزان ترکیبات فعال زیستی را دارند (۱) افزایش میزان این ریشه ها می‌تواند در افزایش میزان ترکیبات فنلی ریشه و همچنین افزایش توان گیاه در مواجه با اثرات تنش‌های رطوبتی موثر باشد. در آزمایشی بیشترین میزان فنل کل ریشه سرخارگل از تیمار ورمی کمپوست و بدون مصرف کود شیمیایی بدست آمد که روند مشابهی را با نتایج آزمایش حاضر نشان می‌دهد (۲۶).

با توجه نتایج حاصل از این آزمایش می‌توان چنین استدلال کرد که واکنش بخش‌های هوایی این گیاه به کاهش میزان سطوح آبیاری منفی بود ولی این روند در بخش‌های زیر زمینی معکوس بود به‌طوری که بیشترین میزان وزن خشک ریشه، نسبت ریشه به اندام‌های هوایی و ترکیبات فنلی ریشه در شرایط تنش رطوبتی شدید مشاهده گردید و تنش رطوبتی شدید تأثیری بر عملکرد ریشه آن نداشت و از طرفی شاهد تأثیر مثبت کودهای آلی در افزایش عملکرد در این گیاه بودیم و بیشترین مقادیر ترکیبات فنلی ریشه که هدف نهایی از تولید این گیاه می‌باشد در تیمارهای ترکیبی هیومیک اسید+ورمی کمپوست مشاهده شد لذا با توجه این امر تولید این گیاه در ۵۰ درصد نیاز رطوبتی معادل ۳۰۰ میلی‌متر آبیاری در طی دوره رشد یکساله و استفاده از تیمارهای کودی حاوی ترکیبات هیومیکی و ورمی‌کمپوست با توجه به رویکردهای کشاورزی پایدار قابل

منابع

1- Alberta Agriculture, Food and Rural Development. 2005. Commercial Echinacea Production .Edmonton, Alberta .Canada. Available at http://www.agric.gov.ab.ca /publication>
2- Alizadeh A., and Kamali G.A. 2008. Crop Water Requirements in Iran. Emam Reza University Press .Mashhad. 227p. (In Persian)
3- Arancon N., Edwards C.A., Bierman P., Welch C., and Metzger J.D. 2004. Influence of vermicomposts on field strawberries: 1.Effect on growth and yields. Bioresource Technology 93: 145-153.
4- Atiyeh R.M, Arancon N., Edwards C.A., and Metzger J.D. 2001. The influence of pig manure on the growth earthworm-processed and productivity of marigolds. Bioresource Technology 81: 103-108.
5- Atiyeh R., Lee S., Edwards C., Arancon N., and Metzger J. 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. Bioresource Technology 84: 7-14.
6- Bachman C.R., and Metzger J.D. 2008. Growth of bedding plants in commercial potting subtract amended with vermicompost. Bioresource Technology 99: 3155-3161.
7- Bending G.D., Turner M.K., and Jones J.E. 2002. Interactions between crop residue and soil organic matter quality and the functional diversity of soil microbial communities. Soil Biology and Biochemistry 34: 1073–1082.
8- Cheong Y.H., Kim K.N., Pandey G.K., Gupta R., Grant J.J., and Luan S. 2003. CLB1, a calcium sensor that differentially regulates salt, drought, and cold responses in Arabidopsis. The Plant Cell 15: 1833-1845.
9- Dat J., Vandenabeele S., Vranova E., Van Montagu M., Inze D., and Van Breusegem F. 2000. Dual action of the active oxygen species during plant stress responses. Cellular and Molecular Life Science 57: 779-795.
10- Dursun A., Guvenc I., and Turan M. 2002. Effects of different levels of humic acid on seedling growth and macro and micronutrient contents of tomato and eggplant. Acta Agrobotanica 56: 81-88.
11- Franze C.H. 1983. Nutrient and Water Management for Medicinal and Aromatic Plants. Acta Horticulturae 132: 203-215.

12- Hojati M., Modarres-Sanavy S.A.M., Karimi M., and Ghanati F. 2011. Responses of growth and antioxidant systems in *Carthamus tinctorius* L. under water deficit stress. Acta Physiologiae Plantarum 33(1): 105-112.
13- Hopkins W.G., and Huner N.P. 2004. Introduction to Plant Physiology (Third Edit). John Wiely and Sons, Inc. New York. 560 p.
14- Goksoy A.T., Demir A.O., Turan Z.M., and Daustu N. 2004. Responses of sunflower to full and limited irrigation at different growth stages. Field Crop Research 87: 167-178.
15- Gray D.E., Pallardy S.G., Garrett H.E., and Rottinghaus G.E. 2003. Acute drought stress and plant age effects on alkamide and phenolic acid content in purple coneflower roots. Planta Medica 69: 50–55.
16- Jahan M., and Nassiri Mahallati M. 2012. Soil Fertility and Bio fertilizers. An Agro ecological Approach. Ferdowsi University of Mashhad Press, Mashhad, Iran. 250 p. (In Persian)
17- Khan M., and Scullion J. 2002. Effects of metal (Cd, Cu, Ni, Pb or Zn) enrichment of sewage-sludge on soil micro-organisms and their activities. Applied Soil Ecology 20: 145-155.
18- Khorasaninejad S., Alizadeh Ahmadabadi A., and Hemmati K. 2018. The effect of humic acid on leaf morphophysiological and phytochemical properties of *Echinacea purpurea* L. under water deficit stress. Scientia Horticulturae 239: 314-323.
19- Kindscher K. 2016. Echinacea Herbal Medicine with a Wild History. Springer International Publishing. Switzerland. 238 pp.
20- Kreft S. 2005. Cichoric acid content and biomass production of *Echinacea purpurea* plants cultivated in Slovenia. Pharmaceutical Biology 43(8): 662–665.
21- Malik A.A., Suryapani S., and Ahmad J. 2011. Chemical vs organic cultivation of medicinal and aromatic plants: the choice is clear .International Journal of Medicinal and Aromatic Plant 1(1): 5-13.
22- Nickolee Z., Kjelgren R., Cerny-Koenig R., Kopp K., and Koenig R. 2006. Drought responses of six ornamental herbaceous perennials. Scientia Horticulture 109(3): 267-274.
23- Omid Beygi R. 2010. Production and Processing of Medicinal Plants. Volume 4 First edition. Behnashr Publications. Mashhad. 423 p. (In Persian)
24- Omid Beygi R .1998. Silymarin and Silybin production from wild and cultivated milk thistle seeds. Iranian Journal of Agricultural Science 29(2): 413-421. (In Persian with English abstract)
25- Pathma J., and Sakthivel N. 2012. Microbial Diversity of Vermicompost Bacteria That Exhibit Useful Agricultural Traits and Waste Management Potential, vol. 1. Springer Plus, pp. 26.
26- Razavi Nia M. 2012. Investigation of the effect of organic, chemical and combined fertilizers on quantitative and qualitative yield of Echinacea. Master's degree Thesis, Faculty of Agriculture. Tarbiat Modares University. (In Persian)
27- Selmar D., and Kleinwächter M. 2013. Influencing the product quality by deliberately applying drought stress during the cultivation of medicinal plants. Industrial Crops and Products 42: 558-566.
28- Siddique K.H.M., Walton G.H., and Seymour. 1993. A comparison of seed yields of winter grain legumes in Western Australia. Australian Journal of Express Agriculture 33: 915-922.
29- Singer M.J., and Bissonnais L.Y. 1998. Importance of surface sealing in the erosion of some soils from a Mediterranean Climate. Geomorphology 24: 79-85.
30- Slinkard K., and Singleton V.L. 1977. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. American Journal of Enology and Viticulture 28: 49-55.
31- Taherkhani T., Rahmani N., Moradi A., and Zandi P. 2011. Assessment of nitrogen levels on flower yield of Calendula grown under different water deficit stress using drought tolerant indices. Journal of American Science 7: 591–598.
32- Tejada M., Gonzales J.L. Garcina-Martinez A.M., and Parrado J. 2008. Effect of different green manures on soil biological properties and maize yield. Bioresource Technology 99(6): 1758-1767.
33- Xiong L., Schumaker K.S., and Zhu J.K. 2002. Cell signaling during cold, drought, and salt stress. The Plant Cell 14: 165-183.
34- Yousef R.M.M., Khalil S.E., and El-Said N.A.M. 2013. Response of *Echinacea purpurea* L. to irrigation water regime and bio fertilization in sandy soils. World Applied Sciences Journal 26(6): 771-782.
35- Zandonadi D.B., Santos M.P., Dobbss L.B., Olivares F.L., Canellas L.P., Binzel M.L., Okorokova-Façanha A.L., and Façanha A.R. 2010. Nitric oxide mediates humic acids-induced root development and plasma membrane H+-ATPase activation. Planta 231: 1025-1036.

Journal of Horticultural Science
Vol. 34, No.4, Winter 2021, P. 593-603
ISSN: 2008 - 4730

نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص. ۶۰۳-۵۹۳
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

The Effect of Water Stress, Chemical and Organic Fertilizers on Biomass, Seed Yield and Root Phenolic Compounds of Purple Coneflower (*Echinacea purpurea* L.)

B. Soltanian[1]- P. Rezvani Moghaddam[2]*- J. Asili[3]
Received: 31-07-2019
Accepted: 12-10-2020

Introduction: Nowadays the demand for medicinal plants is increasing in the pharmaceutical industries. *Echinacea* spp. is an herbaceous, perennial plant containing valuable substances which belong to different chemical groups, most notably phenolic compounds. Echinacea is the most well-known and most important treatment for the immune system and protects against cough, cold and fever. Drought stress can be a major factor in increasing the content of secondary metabolites in many medicinal plants. Organic fertilizers are known to be one of the fertility factors for soil and plant nutrition due to the impacts on the physical, chemical and biological properties of soil. The purpose of this study was to investigate the response of yield and phenolic compounds as the most important group of active compounds in Echinacea in response to different levels of water stress, chemical and organic fertilizer management and their interactions.

Materials and Methods: This experiment was carried out during 2016 and 2017 years at the experimental Field of Ferdowsi University of Mashhad, located at 10 km East of Mashhad. The split plot based on factorial design was implemented in 3 Replications. The studied factors in this experiment in the main plot were water stress at three levels, including1- Non-Water stress (6000 $m^3.ha^{-1}$), 2- Moderate Water Stress (4500 $m^3.ha^{-1}$), 3- Severe Water stress (3000 $m^3.ha^{-1}$).In sub plots, fertilization treatments applied in eight levels, including, 1- NPK fertilizer (500 $kg.ha^{-1}$) ; 2-Humic acid (20 $L.ha^{-1}$); 3-Vermicompost (6000 $kg.ha^{-1}$); 4-Humic acid+NPK (20 $L.ha^{-1}$+500 $kg.ha^{-1}$); 5. Vermicompost+NPK (3000 $kg.ha^{-1}$+250 $kg.ha^{-1}$); 6-vermicompost+humic acid (3000 $kg.ha^{-1}$+20 $L.ha^{-1}$); 7. Vermicompost+Humic acid+NPK (3000 $kg.ha^{-1}$+20 L.ha-1+250 $kg.ha^{-1}$) and 8.control. The amount of irrigation needed at each turn was calculated by NETWAT software. In combined treatments, half of the NPK fertilizer which used in the pure treatment was replaced with the equivalent amount of vermicompost. Constant amount of liquid humic acid was applied at the same time with vermicompost and NPK in rosette leave developing and before stem-elongation phase. The total amount of phenolic compounds in the sample was evaluated by the Folin-Ciocalteu method. Data were analyzed with MSTAT-C statistic software and means compared by Duncan Multiple Range Test.

Results and Discussion: The most amounts of stem dry matter, flower dry matter and biomass were observed at vermicompost and non-stress treatment and the least amount of them was obtained from control and severe water stress condition. The highest amounts of leaf and root dry weight were obtained under vermicompost+humic acid and moderate water stress treatments and the least amount of leaf dry weight was observed at control and severe water stress treatments. At the same time with the increase of water stress, the impact of organic fertilizers on leaf dry weight decreased, however the application of organic fertilizers increased the leaf dry weight even under severe stress conditions. Maximum seed yield was observed under vermicompost+humic acid+NPK and NPK treatments with severe water stress condition. With increase in the stress level, root to shoot ratio was increased and the maximum amount of that was obtained in control treatment under severe water stress condition and the minimum amount of that was obtained at vermicompost and non-stress treatment. The application of vermicompost and humic acid increased root to shoot ratio in severe stress conditions and it were effective in developing root systems in these conditions. Maximum amounts of phenolic compounds were observed under humic acid+vermicompost treatment with severe stress condition and minimum of these compounds were obtained under humic acid treatment at no-stress.

Conclusion: The response of aerial parts of plant was associated with a decrease in irrigation levels, however

1 and 2- Ph.D. Graduate in Agroecology and Professor, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, respectively.
(*- Corresponding Author Email: rezvani@um.ac.ir)
3- Professor, Department of Pharmacognosy, Faculty of Pharmacy, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, I.R.IRAN
DOI: 10.22067/jhorts4.v34i4.82030

this trend was reversed in underground sections. Thus, the maximum amount of root dry weight, root to shoot ratio and root phenolic compounds were observed in severe stress treatment. The highest amount of Phenolic compounds of the root, the ultimate goal of this plant, were observed under humic acid+vermicompost combination treatments. Therefore the production of this plant in terms of supplying 50% of the required moisture content (is equivalent to 300 mm of irrigation during the one-year growth period) and the use of fertilizer treatments containing humic acid and vermicompost compounds is recommended.

Keywords: Humic acid, Medicinal plants, NPK chemical fertilizer, Vermicompost